



(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>G02B 6/28, H01P 1/16, H04B 10/00</b>		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 95/12828</b>
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 11. Mai 1995 (11.05.95)
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/CH94/00207</b>			(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 18. Oktober 1994 (18.10.94)			
(30) Prioritätsdaten: 3310/93-3 4. November 1993 (04.11.93) CH	Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>		
(71)(72) Anmelder und Erfinder: BESSE, Pierre-André [CH/CH]; Avenue de la Piscine 30, CH-1020 Renens (CH).			

(54) Title: PROCESS FOR ALTERING THE INTENSITY AND PHASE RATIOS IN MULTI-MODE INTERFERENCE COUPLERS

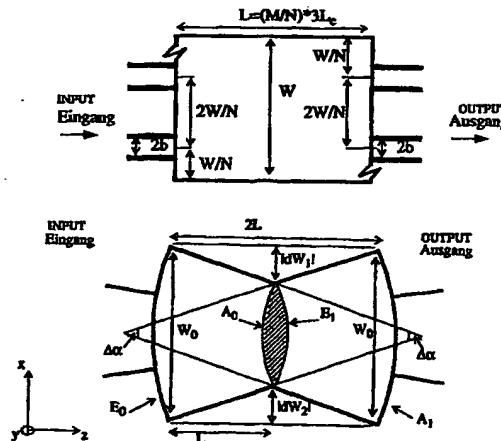
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÄNDERUNG DER INTENSITÄTS- UND PHASEN-VERHÄLTNISSE IN MULTI-MODE INTERFERENZ KOPPLERN

**(57) Abstract**

The invention lies in the field of integrated optics and communications technology. Here, integrated compact beam splitters and combiners are highly important. These optical functions can be fulfilled by "multi-mode interference (MMI)" couplers. With these couplers a certain number of inputs is uniformly distributed over all outputs. These components have wide manufacturing tolerances and are in a good approximation, polarisation-independent. In conventional MMI couplers with parallel flanks the intensity and phase distributions at the output are fixed. For many applications, however, it is necessary to be able to influence these distributions in a controlled manner. The invention proposes a process for the controlled alteration of the intensity and phase ratios at the output of MMI couplers. For this purpose, the conventional MMI couplers are first divided into sections. Each section is then separately transformed so that the self-imaging properties are retained. At the end the sections are once again arranged in series. Judicious selection of the transformations makes it possible to obtain differently controlled beam splitters and combiners. The ratios are changed by a simple tolerant control of geometrical parameters.

**(57) Zusammenfassung**

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der integrierten Optik und der Kommunikationstechnik. In diesen sind integrierte kompakte passive Strahlteiler und Mischer von grosser Bedeutung. Diese optischen Funktionen können mit sogenannten Multi-Mode Interferenz (MMI)-Kopplern erfüllt werden. Dabei werden eine gewisse Anzahl Eingänge auf alle Ausgänge gleichmässig verteilt. Diese Bauelemente haben grosse Herstellungstoleranzen und sind in guter Näherung polarisationsunabhängig. In den gewöhnlichen MMI-Kopplern mit parallelen Flanken sind die Intensitäts- und Phasenverteilungen am Ausgang fest. Es ist in vielen Anwendungen aber nötig, diese Verteilungen kontrolliert beeinflussen zu können. Die Erfindung stellt ein Verfahren zur kontrollierten Änderung der Intensitäts- und Phasenverhältnisse am Ausgang von MMI-Kopplern dar. Dabei werden die gewöhnlichen MMI-Koppler zuerst in Stücke geteilt. Jedes Stück wird dann separat transformiert, so dass die Selbstabbildungseigenschaften erhalten bleiben. Am Ende werden die Stücke wieder in Serie gesetzt. Durch geeignete Wahl der Transformationen können verschiedene kontrollierte Strahlteiler und Mischer erhalten werden. Die Änderung der Verhältnisse erfolgt durch eine einfache tolerante Kontrolle von geometrischen Parametern.



#### **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Anstralien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

## Verfahren zur Änderung der Intensitäts- und Phasenverhältnisse in Multi-Mode Interferenz Kopplern.

### Beschreibung

#### Stand der Technik

In der Optik, (d.h. in der konventionellen, der dreidimensionalen Optik, der planaren und der Wellenleiteroptik), werden Lichtstrahlen verarbeitet. Wichtige 5 Funktionen sind dabei die Teilung und Mischung von Lichtstrahlen. In der konventionellen Optik verwendet man dazu Prismen oder Membranteiler. Heute wird versucht, die Dimensionen der optischen Komponenten sehr stark zu reduzieren. Auf der einen Seite wird es in drei Dimensionen versucht, die Verarbeitung der Lichtstrahlen mittels Interferenzerscheinungen (Holographie...) zu 10 realisieren (Free space optics). Anderseits entwickelt sich die integrierte Optik sehr rasch. Dabei werden dünne Filmschichten oder zweidimensional geführte Wellenleiter verwendet. Ein Ziel der integrierten Optik ist die Funktionalität der Komponenten der konventionellen Optik durch neue integrierbare optische 15 Elemente zu realisieren. Dieses Forschungsgebiet hat wichtige Anwendungen in der Kommunikationstechnik gefunden.

In der faseroptischen Kommunikation erfolgt die Datenübertragung mit optischen Signalen durch Glasfasern. Die Verarbeitung der optischen Signale 20 erfolgt auf integrierte optische chips, die zwischen den Fasern plaziert werden. Zur Herstellung dieser chips werden meist dünne Filmschichten auf einen Träger (Substrate wie z.B. Glas, Si, InP, GaAs...) angebracht und anschließend strukturiert.

0 In optischen Wellenleitern [1] wird das Licht in ein Medium (der sogenannte Wellenleiterkern) geführt. Die Führung kommt daher zustande, dass der Wellenleiterkern durch einen reflektierenden Übergang begrenzt ist. Bei Hohlraumwellenleitern wird ein Metall dazu verwendet. In dielektrischen Wellenleitern wird die totale Reflexion an ein umgebendes Medium mit kleinerem  
5 Brechungsindex (dem Wellenleitermantel) verwendet. In optischen Wellenleitern können nur jene Moden propagieren, welche die Maxwellgleichungen erfüllen. Die Wellenleiter sind cut-off, monomode oder multimode genannt, je nachdem ob sie keinen, nur einen Mode jeder Polarisation oder mehrere Moden führen können.

10 Im Wellenleiter propagiert das Licht in longitudinaler Richtung (z - Richtung). Die x - Richtung ist parallel zur Wellenleiterschicht und wird als horizontale - oder laterale Richtung definiert. Analog ist die y - Richtung senkrecht zur Wellenleiterschicht und ist als vertikale - oder transversale Richtung definiert.

15 Die Berechnung der Lichtfortpflanzung auf den chips erfolgt durch numerische Methoden wie Beam Propagation (BPM)-Methoden [2] oder Moden-Analyse (MA)-Methoden [3]. In einigen Fällen werden auch analytische Berechnungen wie die Effektive-Index-Methode (EIM) [4] gebraucht. Oft werden die Maxwellgleichungen in skalare Näherung gelöst. Diese beschreiben die planare Optik exakt [1]. Dabei wird zwischen zwei Polarisationen unterschieden: die TE-Polarisation hat der E-Vektor in x-Richtung, und die TM-Polarization hat den H-Vektor in x-Richtung. Für die meist gebrauchten zweidimensional geführten dielektrischen Wellenleiter der integrierten Optik, führt die skalare Näherung zur "quasi-TE" und "quasi-TM" Moden. In solchen Wellenleitern  
20  
25

0 können die Modeformen und die "effektiven" Indexen polarisation abhängig sein. In vielen Fällen ist es hoch erwünscht, aber sehr schwierig, Polarisationsunabhängige Komponenten zu produzieren. Es ist zu bemerken, dass sogenannte "monomode" Wellenleiter oft eine Mode jeder Polarisation enthalten, d.h. insgesamt werden oft zwei Moden in "monomode" Wellenleiter geführt. Diese sind  
5 in normalen Glasfasern entartete Moden.

Wichtige Bauelemente der integrierten Optik sind die Strahlteiler (engl. splitters) und Mischer (engl. combiners). Man spricht allgemein von  $\bar{N} \times N$ -Teiler. Mit  $\bar{N}$  und N ist die Zahl der Eingänge und Ausgänge gemeint. Diese  
10 Teiler sollten im Idealfall folgende Eigenschaften zeigen: sie sollten kompakt (von kleiner Dimensionen), polarisationsunabhängig, wenig empfindlich zu Fabrikationsungenauigkeiten und einfach zu produzieren sein. Ferner, die Teilungs- oder Mischverhältnisse sollten einfach durch geometrische Änderungen im Design an die verschiedenen Anwendungen angepasst werden  
15 können. Verschiedene Strahlteiler und Mischer wurden schon realisiert:

- Symmetrische Y-Verzweigungen [5] sind einfache Lösungen für 1x2 Teiler mit einem 50%/50% Intensitätsverhältnis. Asymmetrische Y-Verzweigungen [6] liefern andere Intensitätsverhältnisse, sind aber wegen Kopplungseffekten  
20 zwischen den beiden Ausgängen oft polarisationsabhängig. Für die Herstellung Y-Verzweigungen ist aber eine hohe Auflösung, besonders im spitzigen Spalt, erforderlich. Sie sind sehr empfindlich zu den Fabrikationsungenauigkeiten.

25 - Richtungskoppler [1] mit zwei parallelen Wellenleitern, getrennt mit einem

0 schmalen Spalt, wirken als 2x2-Teiler. Die Kopplungslänge ist aber sehr  
empfindlich zu Herstellungsparameter speziell zur Spaltbreite und Tiefe. Die  
Kopplungslänge ist auch stark polarisationsabhängig [7]. "Two Mode" Inter-  
ferenz (TMI)-Koppler [8] ohne Spalt wirken auch als 2x2-Teiler. Das Intensität-  
verhältnis hängt aber stark von der Kopplung in den Ein- und Ausgang Y-

5 Verzweigungen ab. Sie sind deshalb auch sehr empfindlich zur Herstellungbe-  
dingungen.

- Integrierte Totalreflektionsspiegel [9] sind eine sehr kompakte Lösung für  
1x2-Teiler. Sie erfordern aber extreme Anforderungen an die Herstellungs-  
10 technik. Ferner ist das Teilungsverhältnis nur schwer kontrollierbar und stark  
von der Genauigkeit der geometrischen Dimensionen abhängig.

- In "free-space"- Star-Kopplern [10] werden die  $\bar{N}$  Eingänge durch Diffraction  
in einer nicht geführte Sektion gleichmässig auf die N Ausgänge verteilt. Solche  
15 Elemente sind gut geeignet für grosse Werte von  $\bar{N}$  und N. Sie sind aber kaum  
geeignet für ein 1x2, 2x2 oder 1x3 Teiler, da dann die Homogenität der Intensi-  
tätsverteilung immer schwieriger zu realisieren wird.

- In den letzten Jahren sind Multi-Mode Interferenz (MMI)-Koppler [11] [12] [3]  
20 stark im Kommen. Diese Bauteile sind Wellenleitersektionen, die mehrere  
Moden führen. Diese werden zum Beispiel produziert, indem eine gewöhnliche  
Wellenleiter-Struktur verbreitert wird, bis sie genügend Moden führt. Manchmal  
wird dabei zum Beispiel auch die laterale Führung erhöht. Dank ihrer Selbstab-  
25 bildungseigenschaft wirken diese Koppler als  $\bar{N} \times N$ -Teiler in zwei [12] oder in

0        drei [11] Dimensionen. Wir nennen "gewöhnliche" MMI-Koppler die Elemente mit parallelen Flanken [3]. Zu bemerken ist, dass MMI-Koppler auch mit schräge Flanken gemacht werden können[12]. Da die Erfindung sich gerade mit diesem Punkt befasst, ist es hier notwendig, die Eigenschaften der "gewöhnlichen" MMI-Koppler näher zu diskutieren.

5

**Diskussion den MMI-Koppler:**

Die allgemeine Form eines MMI-Kopplers mit parallelen Flanken ist auf Fig.1a gezeigt [3] [13]. Die gewöhnlichen "vollständige Interferenz NxN-MMI-  
10      Koppler" sind charakterisiert durch eine Bauteillänge L gegeben durch:

$$L = \left(\frac{M}{N}\right) \cdot \left(\frac{3}{A}\right) \cdot L_c \equiv \left(\frac{M}{N}\right) \cdot \left(\frac{3}{A}\right) \cdot \frac{\pi}{(\beta_0 - \beta_1)} \equiv \left(\frac{M}{N}\right) \cdot \left(\frac{3}{A}\right) \cdot \left(\frac{4}{3} n \frac{W^2}{\lambda}\right)$$

(Eq. 1)

15      Mit A=1 für diese Sorte von Koppler. Dabei sind  $\beta_0$  und  $\beta_1$  die Propagationskonstanten der ersten zwei Moden des MMI-Kopplers. W ist die Breite des MMI-Kopplers und n ist der Index in der MMI-Sektion.  $\lambda$  ist die Wellenlänge im Vakuum. N ist die Anzahl Bilder d.h. auch die Anzahl Ein- und Ausgänge. M ist eine ganze Zahl. N und M sind teilerfremd. Die Bilder haben alle dieselbe Intensität. Der Parameter b ist frei wählbar. Da die rationalen Zahlen (M/N) in den reellen Zahlen dicht sind, kann jede Länge L in beliebig guter Näherung als eine Länge, wo Selbstabbildung erscheint, dargestellt werden. Dabei können aber die Bilder sich überlappen und das gesammte Bildmuster am Ausgang ist dann die 20      25      kohärente Summe aller dieser Bilder.

0

Falls der Parameter  $b$  gleich 0 oder  $W/N$  ist, werden die Selbstabbildungen sich paarweise kohärent überlappen. Das führt zu einer Reduktion der Anzahl Bilder und zu ungleichmässigen Intensitätsverhältnissen an den verschiedenen Ausgängen. In diesem Fall hat man einen gewöhnlichen "überlappende Interferenz" MMI-Koppler. Diese können ungleichmässige Intensitätverhältnisse haben, aber die sind nicht kontrollierbar. Die Verhältnisse sind fest definiert für jede Sorte dieser Elemente.

5 Zwei Spezialfälle von gewöhnlichen "überlappende Interferenz" MMI-Koppler sind in der Literatur besonders studiert worden. In beiden Fällen liefert die

10 Ueberlappung der Bilder verschwindende Bilderpaare (destructive Ueberlappung) und Bilderpaare mit derselben Intensität. Damit erhält man für die verbleibenden Bilder eine gleichmässige Intensität. In der gewöhnlichen "symmetrische Interferenz"  $1 \times N$  MMI-Kopplern (Fig. 1b) werden nur symmetrische Moden angeregt [13] [14]. Die Länge ist  $L = (M/N) * (3L_c/4)$ , wobei  $L_c$  in Eq. 1 definiert ist. Der Wert von  $A$  ist  $A=4$  für diese Sorte von Kopplern.

15 Symmetrische Moden sollen am Eingang verwendet werden. In den gewöhnlichen "unvollständige Interferenz"  $2 \times N$  MMI-Kopplern werden die Moden 2,5,8 ... nicht angeregt [3] [13]. Das wird erreicht, indem die zwei 20 Eingänge an  $W/3$  und  $2W/3$  plaziert werden (Fig. 1c). Die Länge ist jetzt  $L = (M/N) * L_c$ . Die Eingangsmoden sind symmetrisch und  $N$  ist gerade.  $A$  hat den Wert  $A=3$  für diese Sorte von Koppler.

25 Man kann dieselbe Diskussion auch für die "schrägen Flanken" MMI-Koppler

0 [12] durchführen. Diese sind multi-Mode Wellenleitersektionen, wo die Flanken nicht parallel sind, sondern auf radialen Linien liegen. In der multi-mode Sektion wird die Breite linear verkleinert oder vergrössert. Der Bauteil kann in radiale oder zylindrischen Koordinaten (mit Radius  $r$  und Winkel  $\alpha$ ) beschrieben werden. In den neuen Koordinaten propagiert das Licht in radialer

5 Richtung und die Flanken des MMI-Kopplers sind durch konstante Winkelkoordinaten definiert. Im neuen Koordinatensystem ist der MMI-Koppler mit "schrägen Flanken" durch ähnliche Gleichungen wie der gewöhnliche MMI-Koppler mit parallelen Flanken beschrieben. Dasselbe kann auch durch konforme Abbildung erhalten werden [15]. Folgendes ist zu bemerken: erstens

10 die Ein- und Ausgänge liegen bei den "schrägen Flanken" MMI-Kopplern auf Kreisbogen (Linien mit konstantem Radius) anstatt auf geraden Linien.

Zweitens die Länge  $L$  ist jetzt:

$$15 L \equiv |R_1 - R_0| = \left( \frac{M}{N} \right) \cdot \left( \frac{3}{A} \right) \cdot \left[ \frac{4}{3} n \frac{(R_0 \Delta \alpha) \cdot (R_1 \Delta \alpha)}{\lambda} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

Wobei  $R_0, R_1$  die radialen Koordinaten der Ein- und Ausgangskreisbogen sind. Der Winkel  $\Delta \alpha$  ist der Winkel zwischen den "schrägen Flanken". Die Werte  $(R_0 \Delta \alpha)$  und  $(R_1 \Delta \alpha)$  können als "Ein- und Ausgangsbreiten" interpretiert werden. In Eq.1 ist die Breite  $W$  durch den geometrischen Mittelwert der "Ein- und Ausgangsbreiten" zu ersetzen. Der Parameter  $A$  ist wie für parallele Flanken definiert.

20 Die MMI-Koppler können auch in drei Dimensionen realisiert werden [11]. Die Beschreibung verläuft wie oben, nur soll man nicht nur eine Breite sondern eine

0 Breite (in x-Richtung) und eine Dicke (in y-Richtung) berücksichtigen. Durch  
Selbstabbildungseffekt wird ein zweidimensionales Array von Eingängen auf  
ein zweidimensionales Array von Ausgängen abgebildet. Die dreidimensionalen  
MMI-Koppler mit schrägen Flanken können durch Kugelkoordinaten Transfor-  
mation auf den Fall von dreidimensionalen MMI-Koppler mit parallelen  
5 Flanken reduziert werden. Die Ein- und Ausgänge sind dann auf Kugelflächen.

Die MMI-Koppler haben grosse Vorteile. Sie sind (sowohl in der "gewöhnlichen" als auch in der "schrägen Flanken" Ausführung in zwei oder drei  
10 Dimensionen) kompakt [16] [17], sehr gut polarisationsunabhängig (wegen der starken lateralen Modeführung), eher unempfindlich auf Fabrikationsungenauigkeiten [18] und einfach zu produzieren. Sie sind auch speziell gut geeignet als  $\bar{N} \times N$ -Teiler für kleine Werte von  $\bar{N}$  und  $N$ . Ihr Nachteil ist, dass sowohl in der "gewöhnlichen" als auch in der "schrägen Flanken" Ausführung, die Intensitäts-  
15 Verteilung und die Phasenverteilung an den verschiedenen Ausgängen nicht geändert werden kann. Die Erfindung befasst sich gerade mit diesem Punkt.

Es ist Aufgaben der Erfindung:

Die Intensitäts- und Phasenverhältnisse an den Ausgängen der MMI-Koppler in zwei oder drei Dimensionen kontrolliert zu verändern. Durch Änderungen  
20 von geometrischen Parametern werden diese Verhältnisse kontinuierlich variiert. Besonders interessant sind die 1x2-kontinuierlich varierbaren Teiler und die 1x3-Teiler mit zwei gleichen Ausgängen und einem kontinuierlich varierbaren Ausgang. Dafür werden neue Geometrien für den MMI-Koppler entwickelt.

0 Die Aufgabe wird nach den, in den Ansprüchen 1 bis 10 beschriebenen Verfahren gelöst. Die neuen Geometrien für die neuen MMI-Koppler in zwei oder drei Dimensionen mit varierbaren Intensitäts- und Phasenverhältnissen entstehen allgemein durch folgende Modifikationen an den gewöhnlichen MMI-Kopplern mit parallelen lateralen Flanken:

5 - Der gewöhnliche MMI-Koppler wird in zwei oder mehrere Stücke längs die Propagationsrichtung geteilt, so dass jedes Stück selber ein MMI-Koppler (mit eventuell sich überlappenden Bildern) ist.

- Jedes Stück wird separat transformiert, so dass der charakteristische Selbstabbildungseffekt dieser Koppler erhalten bleibt oder in erster Näherung erhalten

10 bleibt. Besonders geeignet als zwei oder drei dimensionale Transformationen sind: Breite und Längenänderungen, Schiefstellen den lateralen Flanken, laterale Verschiebungen und Schiefstellen der Eingangs- und Ausgangswellenleitern, Änderung der Dimensionen der Ein- und Ausgänge ...

- Die transformierten Stücke werden direkt, ohne die Verwendung von Verbindungsstellen zwischen den Stücken, in Serie gesetzt. Weil jedes Stück transformiert worden ist, sind die Anzahl Bilder und ihre relativen Phasen am Eingang des nächsten Stücks geändert worden. Dadurch wird die Interferenzerscheinung am Ende des gesamten Elements geändert. Je nach verwendeten Transformationen der einzelnen Stücke, ändert sich die Intensitätsverhältnisse

15 an den existierenden Ausgängen, erscheinen neue Selbstabbildungen und treten bewusst erzeugte Radiationen auf.

- Neue Ausgangswellenleiter werden eingeführt, um neu erscheinende Selbstabbildungen zu führen oder bewusst erzeugte Radiationen zu sammeln.

0 Um nur die Phasenverhältnisse an den Ausgängen von Multi-Mode Interferenz (MMI)-Koppler in zwei oder drei Dimensionen zu verändern, kann man auf die erste und dritte Etappe verzichten. Das neue Verfahren für Änderungen an Phasenverhältnissen folgt folgenden Schritten :

- Der gewöhnliche MMI-Koppler wird transformiert, so dass der charakteristischen

5 Selbstabbildungseffekt dieser Koppler erhalten bleibt. Nach der Transformation sollen Eingangs- und Ausgangspositionen auf gekrümmten Linien oder gekrümmten Flächen liegen. Diese Linien oder Flächen werden als Eingangs- und Ausgangsfronten bezeichnet. Besonders geeignet als zwei- oder dreidimensionale Transformationen sind: Breite- und Längenänderungen, Schiefstellen der lateralen Flanken, laterale Verschiebungen und Schiefstellen der Eingangs- und Ausgangswellenleiter, Änderung der Dimensionen der Ein- und Ausgänge...

- Die Eingangs- und Ausgangswellenleiter werden auf andere Linien oder Flächen als die Eingangs- und Ausgangsfronten, zum Beispiel auf gerade Linien oder auf Ebenen, positioniert.

15 Dieses Verfahren funktioniert so: Je nach Wahl der Transformation verschieben sich die Eingangs- und Ausgangsfronten, und ihre Krümmungen ändern sich gleichzeitig. Die Unterschiede zwischen den Positionen der Ein- und Ausgänge und der Lage der Eingangs- und Ausgangsfronten erzeugen Änderungen der Phasenverhältnisse am Ende der Komponente. Diese Verhältnisse können 20 deshalb durch die geeignete Wahl der Transformation kontrolliert werden.

25 Von diesen zwei allgemeinen Verfahren sind zum Beispiel folgende spezielle Verfahren von grossem Interesse:

0      Im ersten speziellen Verfahren wird ein Teil der Eingangslichtintensität abgezweigt, ohne die Teilerfunktion des MMI-Kopplers zu zerstören. Dieses Verfahren folgt folgenden Schritten:

- Der gewöhnliche MMI-Koppler wird in zwei Stücke geteilt (Teilung am Ort  $z=z_0$ ). Durch die Wahl von  $z_0$ , wird der prozentuelle Anteil des Abgezweigten

5      Lichtes kontrolliert.

- Das erste MMI-Stück wird auf einer oder auf beiden Seiten verbreitert, dadurch wird ein Teil des Lichts nicht ins zweite MMI-Stück gelangen und als Radiationen auf einer oder auf beiden Seiten auftreten. Diese bewusst erzeugten Radiationen werden durch neu eingeführte Wellenleiter gesammelt.

10     - Der Rest des Lichts propagiert ins zweite MMI-Stück und interferiert am Ausgang dieses Stücks. Die Störung des Interferenzbildes durch die Verbreiterung des ersten MMI-Stücks wird durch leichte Korrekturen an den Positionen, den Breiten und den Einfallswinkeln den Ein- und Ausgangswellenleitern, sowie an der Länge des zweiten MMI-Stücks, kompensiert.

15     Das zweite spezielle Verfahren folgt dem ersten allgemeinen Verfahren (Anspruch 1) und ist dadurch gekennzeichnet, dass das Schiestellen der lateralen Flanken (und die damit gekoppelte Anpassung der Längen und der Ein- und Ausgangswellenleiter Positionen und Richtungen) als zwei- oder

20     dreidimensionale Transformation verwendet wird. Diese Transformationen und die nötigen Anpassungen können einfach durch Koordinatentransformationen (Zylindrischen oder Kugeltransformationen) analysiert werden. Nach den Transformationen sind die Eingangs- und Ausgangsfronten jedes Stückes auf Kreis- oder Kugelflächen. Wegen der Nichtübereinstimmung dieser Fronten entstehen

25

0 Phasenverschiebungen zwischen den MMI-Stücken (dieser Effekt wird anhand vom nächsten, dritten speziellen Verfahren illustriert). Dadurch ändert sich das Interferenzbild und die Intensitätsverhältnisse am Ausgang des ganzen Bauteils.

Das dritte spezielle Verfahren ist eine Variation vom zweiten speziellen  
5 Verfahren und ist dadurch gekennzeichnet, dass der gewöhnliche MMI-Koppler  
nur in der Mitte geteilt wird (Fig.2). Bis in die Mitte wird die Breite linear  
verkleinert (vergrössert) und von der Mitte wieder linear vergrössert  
(verkleinert) bis zum ursprünglichen Wert. Die Länge jedes Stückes wird  
angepasst gemäss Eq.2. Die transformierten Bauteile werden dann als "butterfly"  
10 ("inverted butterfly") MMI-Koppler bezeichnet. Die Erhaltung der Selbstabbil-  
dungseigenschaften der MMI-Koppler ist am besten gewährleistet falls: a) die  
laterale Indexführung stark genug ist, um längs die ganze Propagation stark  
multi-mode zu bleiben und b) der Winkel  $\Delta\alpha$  zwischen den lateralen Flanken  
klein bleibt, so dass eine paraxiale Näherung immer noch gültig ist. Für kleine  
15  $\Delta\alpha$  können die Werte  $(R_0, \Delta\alpha)$  und  $(R_1, \Delta\alpha)$  in Eq. 2 sehr gut mit den lateralen  
Dimensionen  $W_0$  und  $(W_0 + dW_1 + dW_2)$  angenähert werden, wobei  $dW_1$  und  
 $dW_2$  negativ (positiv) für "butterfly"-MMI-Koppler ("inverted-butterfly") sind.  
Die Eingänge werden durch das erste MMI-Stück auf der Ausgangsfront (Kreis-  
bogen  $A_0$ ) selbstabgebildet. Die Eingangsfront im zweiten MMI-Stück ist aber  
20 der Kreisbogen  $E_1$ . Die Region zwischen den beiden Kreisbogen  $A_0$  und  $E_1$   
(schaffiert auf Fig.2) verursacht Phasenunterschiede die von der lateralen  
Position der Selbstabbildungen abhängig sind. Diese Phasenunterschiede  
können durch die Wahl von  $dW_1$  und  $dW_2$  kontinuierlich variiert werden und  
25 kontrollieren die Intensitäts- und Phasenverhältnisse am Ausgang des Bauteils

0 (Interferenzprozess). Gemäss dem zweiten allgemeinen Verfahren können auch die Ein- und Ausgänge zum Beispiel auf geraden Linien, anstatt auf den Kreisbogen  $E_0$  und  $A_1$  positioniert werden. Damit werden nur die Phasenverhältnisse nicht die Intensitätsverhältnisse geändert.

5 Die oben beschriebenen Verfahren lassen sich durch spezifische Verfahren ergänzen, um 1x1,1x2 und 1x3 Teiler zu produzieren. Durch kontinuierliche Variationen von geometrische Parametern können dann in diesen Teilern die Intensitätsverhältnisse kontrolliert werden. Solche spezifische Verfahren werden anhand der Figuren 3 bis 5 erklärt. In Figur 3 ist ein spezifisches Verfahren

10 erklärt, womit ein 1x1 oder ein 1x2-Teiler produziert wird. Ein kontrollierbarer Teil der Lichtintensität wird mit einem Kollektorwellenleiter gesammelt, der Rest des Lichtes wird in einem Ausgang (Fig.3a) oder gleichmässig in zwei Ausgänge (Fig. 3b) verteilt. Der Kollektorwellenleiter kann zum Beispiel auf eine Photo-Diode führen, die als Kontrollmonitor dient. Diese Photodiode kann

15 auch zum Beispiel direkt in die schaffierte Region (Fig3 a,b) gebracht werden und als absorbierende Region wirken. Auf Figure 4a,b werden spezifische Verfahren dargestellt, um 1x2-Teiler mit kontinuierlichen kontrollierbaren Ausgangsintensitätsverhältnisse zu realisieren. Auf Figure 5a ist ein spezifisches Verfahren erklärt, um 1x3-Teiler mit zwei Ausgängen mit gleicher Intensität zu

20 realisieren. Das Verhältnis zwischen dem dritten Ausgang und den zwei mit gleicher Intensität ist kontinuierlich kontrollierbar. Auf Figure 5b,c sind spezifische Verfahren erklärt, um 1x3-Teiler zu realisieren. Die Intensitätsverhältnisse zwischen den drei Ausgängen sind varierbar.

0 Die Vorteile der Entdeckung sind folgende: Alle Vorteile der gewöhnlichen  
10 MMI-Koppler bleiben in den neuen MMI-Kopplern erhalten, aber dazu kommt,  
dass durch Anwendung von den neuen Verfahren, Änderungen der Intensität-  
und Phasenverhältnisse möglich sind. Wie für die gewöhnlichen MMI-Koppler,  
sind die neuen Bauteile kompakt, sehr gut polarisationsunabhängig (wegen der  
15 starke laterale Modeführung), eher unempfindlich auf Fabrikationsungenaig-  
keiten und einfach zu produzieren. Durch einfache geometrische Variationen  
der design Parameter werden in den neuen Verfahren die Intensität- und Phasen-  
verhältnisse an den verschiedenen Ausgängen verändert. Die neuen Verfahren  
erlauben, diese Verhältnisse den verschiedenen Anwendungsanforderungen  
20 anzupassen. Zum Beispiel kann ein kleiner wählbarer Teil der Lichtintensität auf  
einen Kontroll-Monitor gebracht werden (Fig.3a,b) ohne die Teiler-Funktion des  
MMI-Kopplers zu zerstören. Als weiteres Beispiel können auch 1x2- und 1x3-  
Teiler mit kontrollierbaren ungleichmässigen Ausgangsintensitäten produziert  
werden, und zwar einfach, kompakt, polarisationsunabhängig und tolerant auf  
25 die Herstellungsungenaigkeiten. Verglichen mit den "free-space"- Star-  
Kopplern, sind die neuen MMI-Koppler besonders gut als  $\bar{N} \times N$ -Teiler für kleine  
 $\bar{N}$  und  $N$  Werte. Sie haben auch keine Probleme mit dem "spitzigen" Spalt  
zwischen den Ausgängen wie in "free-space"- Star-Koppler oder in Y-Verzwei-  
gungen.

20

25

0      **Fig. 1**    a) Allgemeine Form eines MMI-Kopplers mit parallelen Flanken [3] [13]. Die gewöhnlichen "vollständige Interferenz NxN-MMI-Koppler" sind charakterisiert durch eine Bauteillänge  $L$  gegeben durch:  $L=(M/N)*3L_c$ . Dabei ist  $L_c$  durch Eq. 1 gegeben ( $A=1$ ).  
 5      b) Gewöhnliche "symmetrische Interferenz" 1xN MMI-Koppler mit Anregung von nur symmetrische Moden [13] [14]. Die Länge ist  $L=(M/N)*(3L_c/4)$  mit  $A=4$ .  
 10     c) Gewöhnliche "unvollständige Interferenz" 2xN MMI-Koppler, wo bei die Moden 2,5,8 ... nicht angeregt werden [3] [13]. Die Länge ist jetzt  $L=(M/N)*L_c$  mit  $A=3$ . Die Eingangsmoden sind symmetrisch und  $N$  ist gerade.

15     **Fig. 2**    a) "Butterfly"-MMI-Koppler. Bis zur Mitte hin wird die Breite linear verkleinert, und von da an wieder linear vergrössert bis zum ursprünglichen Wert. Die Länge jedes Stückes wird nach Eq.2 angepasst .  
 b) "Inverted-butterfly"-MMI-Koppler. Bis zur Mitte hin wird die Breite linear vergrössert und von da an wieder linear verkleinert bis zum ursprünglichen Wert. Die Länge jedes Stückes wird nach Eq. 2 angepasst.

20     **Fig. 3**    Spezifische Verfahren um ein 1x1 oder ein 1x2-Teiler mit Einführung eines Kollektorwellenleiters zu produzieren.  
 a) 1x1-Teiler mit Kollektorwellenleiter.  
 b) 1x2-Teiler mit Kollektorwellenleiter.

25     **Fig. 4**    "Butterfly" und "inverted butterfly" MMI-Koppler als 1x2-Teiler mit

0

kontrollierten Ausgangsintensitätsverhältnissen.

5

a) "(Inverted) butterfly 3dB"-MMI-Koppler als 1x2-Teiler. Die Intensitätsverhältnisse zwischen den beiden Ausgängen werden durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  kontrolliert (Eq.3).

b) "(Inverted) butterfly cross"-MMI-Koppler als 1x2-Teiler. Die Intensitätsverhältnisse zwischen den beiden Ausgängen werden durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  kontrolliert (Eq.4).

10

**Fig. 5** "Butterfly" und "inverted butterfly" MMI-Koppler als 1x3-Teiler mit kontrollierten Ausgangsintensitätsverhältnissen.

15

a) "(Inverted) butterfly symmetrische Interferenz 1x2"-MMI-Koppler als 1x3-Teiler. Das Intensitätverhältnis zwischen den äusseren Ausgängen und dem inneren Ausgang wird durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  kontrolliert (Eq.5).

20

b) "(Inverted) butterfly "-MMI-Koppler als 1x3-Teiler: erste Version. Die Intensitätverhältnisse werden durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  beeinflusst. Für den Wert  $dW=0.38*W_0$  ist  $P_1 \equiv P_2 \equiv 0.44*P_{in}$  und  $P_3 \equiv 0.12*P_{in}$ .

25

c) "(Inverted) butterfly "-MMI-Koppler als 1x3-Teiler: zweite Version. Die Intensitätverhältnisse werden durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  beeinflusst. Für den Wert  $dW=0.22*W_0$  ist  $P_1 \equiv P_2 \equiv 0.44*P_{in}$  und  $P_3 \equiv 0.12*P_{in}$ .

0      **Fig. 1** Die allgemeine Form eines MMI-Koppler mit parallelen Flanken ist auf Fig.1a gezeigt [3] [13]. Die gewöhnlichen "vollständige Interferenz NxN-MMI-Koppler" sind charakterisiert durch eine Bauteillänge  $L$  gegeben durch:  $L=(M/N)*3L_c$ . Dabei ist  $L_c$  durch Eq. 1 gegeben ( $A=1$ ). Dabei sind  $\beta_0$  und  $\beta_1$  die Propagationskonstanten der ersten 5 zwei Moden des MMI-Kopplers.  $W$  ist die Breite des MMI-Kopplers und  $n$  ist der Index in der MMI-Sektion.  $\lambda$  ist die Wellenlänge im Vakuum.  $N$  ist die Anzahl Bilder d.h. auch die Anzahl Ein- und Ausgänge.  $M$  ist eine ganze Zahl.  $N$  und  $M$  sind teilerfremd. Die Bilder haben alle 10 dieselbe Intensität. Der Parameter  $b$  ist frei wählbar. Da die rationalen Zahlen  $(M/N)$  in den reellen Zahlen dicht sind, kann jede Länge  $L$  in beliebig guter Näherung als eine Länge wo Selbstabbildung erscheint dargestellt werden. Dabei können aber die Bilder sich überlappen und das gesamte Bildmuster am Ausgang ist dann die kohärente Summe 15 aller dieser Bilder.

15      Falls der Parameter  $b$  gleich 0 oder  $W/N$  ist, dann werden die Selbstabbildungen sich paarweise kohärent überlappen. Das führt zu einer Reduktion der Anzahl Bilder und zu ungleichmässigen Intensitätsverhältnissen an den verschiedenen Ausgängen. In diesem Fall hat man einen gewöhnlichen "überlappende Interferenz" MMI-Koppler. Diese können ungleichmässige Intensitätsverhältnisse haben, 20 aber die sind nicht kontrollierbar. Die Verhältnisse sind fest definiert für jede Sorte von diesen Elementen.

20      Zwei Spezialfälle von gewöhnlichen "überlappende Interferenz" MMI-Koppler sind in der Literatur besonders studiert worden. In beiden Fällen

0 len liefert die Ueberlappung der Bilder verschwindende Bilderpaare (destruktive Ueberlappung) und Bilderpaare mit derselben Intensität. Damit erhält man für die verbleibenden Bilder eine gleichmässige Intensität. In den gewöhnlichen "symmetrische Interferenz" 1xN MMI-Kopplern (Fig. 1b) werden nur symmetrische Moden angeregt [13] [14]. Die Länge ist  $L=(M/N)*(3L_c/4)$ , wobei  $L_c$  in Eq. 1 definiert ist ( $A=4$ ). Symmetrische Moden sollen am Eingang verwendet werden. In den gewöhnlichen "unvollständige Interferenz" 2xN MMI-Kopplern werden die Moden 2,5,8 ... nicht angeregt [3] [13]. Das wird erreicht, indem die zwei Eingänge an  $W/3$  und  $2W/3$  plaziert werden (Fig. 1c).  
5 Die Länge ist jetzt  $L=(M/N)*L_c$  mit  $A=3$ . Die Eingangsmoden sind symmetrisch und  $N$  ist gerade.  
10

15

20

25

0       **Fig. 2** Spezielle Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass das Schiefstellen  
der lateralen Flanken (und die damit gekoppelte Anpassung der Län-  
gen und der Ein- und Ausgangswellenleiter Positionen und Richtun-  
gen) als zwei- oder dreidimensionale Transformation verwendet wird.  
Diese Transformationen und die nötigen Anpassungen können einfach  
5       durch Koordinatentransformationen (Zylindrischen oder Kugeltrans-  
formationen) analysiert werden. Nach den Transformationen sind die  
Eingangs- und Ausgangsfronten jedes Stückes auf Kreis- oder Kugel-  
flächen. Wegen der Nicht-Uebereinstimmung dieser Fronten entstehen  
Phasenverschiebungen zwischen den MMI-Stücken. Dadurch ändert  
10      sich das Interferenzbild und die Intensitätsverhältnissen am Ausgang  
des ganzen Bauteils. In Fig.2 ist eine Variante dieses Verfahrens illu-  
striert, wo der gewöhnliche MMI-Koppler nur in der Mitte geteilt wird.  
Fig.2a) "Butterfly"-MMI-Koppler. Bis in die Mitte wird die Breite li-  
near verkleinert, und von der Mitte wieder linear vergrössert bis zum  
15      ursprünglichen Wert. Die Länge jedes Stückes wird gemäss Eq.2 ange-  
passt.  
Fig. 2b) "Inverted-butterfly"-MMI-Koppler. Bis in die Mitte wird die  
Breite linear vergrössert und von der Mitte wieder linear verkleinert  
bis zum ursprünglichen Wert. Die Länge jedes Stückes wird gemäss  
20      Eq.2 angepasst.  
Die Erhaltung der Selbstabbildungseigenschaften der MMI-Koppler ist  
am besten gewährleistet falls: 1) die laterale Indexführung stark genug  
ist, um längs die ganze Propagation stark multi-mode zu bleiben und 2)  
25      der Winkel  $\Delta\alpha$  zwischen den lateralen Flanken klein bleibt, so dass eine

0 paraxiale Näherung immer noch gültig ist. Für kleine  $\Delta\alpha$  können die Werte  $(R_0 \cdot \Delta\alpha)$  und  $(R_1 \cdot \Delta\alpha)$  in Eq. 2 sehr gut mit den lateralen Dimensionen  $W_0$  und  $(W_0 + dW_1 + dW_2)$  angenähert werden, wobei  $dW_1$  und  $dW_2$  sind negativ (positiv) für "butterfly"-MMI-Koppler ("inverted-butterfly").

5 Die Eingänge werden durch das erste MMI-Stück auf der Ausgangsfront (Kreisbogen  $A_0$ ) selbstabgebildet. Die Eingangsfront im zweiten MMI-Stück ist aber der Kreisbogen  $E_1$ . Die Region zwischen den beiden Kreisbogen  $A_0$  und  $E_1$  (schaffiert auf Fig.2) verursacht Phasenunterschiede die von der laterale Position der Selbstabbildungen abhängig sind. Diese Phasenunterschiede können durch die Wahl von  $dW_1$  und  $dW_2$  kontinuierlich variiert werden und kontrollieren die Intensitäts- und Phasenverhältnisse am Ausgang des Bauteils (Interferenzprozess). Gemäss dem zweiten allgemeinen Verfahren können auch die Ein- und Ausgänge zum Beispiel auf geraden Linien anstatt auf den Kreisbogen  $E_0$  und  $A_1$  positioniert werden. Damit werden nur die Phasenverhältnisse, nicht aber die Intensitätsverhältnisse geändert.

10

15

20

25

0        **Fig. 3** Spezifische Verfahren um ein 1x1 oder ein 1x2-Teiler mit Einführung eines Kollektor-Wellenleiter zu produzieren. Der Kollektor-Wellenleiter kann zum Beispiel auf eine Photo-Diode führen, die als Kontrollmonitor dient.

5        a) 1x1-Teiler mit Kollektor-Wellenleiter. Ein gewöhnlicher "symmetrische Interferenz" 1x1-MMI-Koppler (mit  $N=1$ ,  $M=1$ ,  $A=4$ , und  $L$  aus Eq.1) wird am Ort  $z=z_0$  in zwei geteilt. Der erste Teil wird auf einer Seite um den Wert  $dW$  verbreitert. An dieser Seite werden die Lichtradiationen mit einem Kollektorwellenleiter gesammelt. Durch eine leichte Verschiebung  $dx$  der Eingangswellenleiter kann die ursprüngliche Selbstabbildungscharakteristik wieder hergestellt werden, das heisst: ein einziges Bild erscheint am Ausgang. Durch die Wahl von  $z_0$  kann die Intensität im Kollektorwellenleiter gewählt werden. Das Verfahren ist besonders für kleine Werte von  $z_0$  gut geeignet. Die exakten Werten von  $z_0$ ,  $dW$  und  $dx$  können mit Simulationsprogrammen (wie zum Beispiel BPM [2] oder MA [3]) berechnet werden.

10        Als Variante kann ein lichtabsorbierendes Material in die verbreiterte Region des erstes MMI-Stücks (schaffierte Region) eingeführt werden. Am Eingang des absorbierenden Materials soll keine Reflektion vorkommen. Die Radiationen werden direkt absorbiert ohne durch einen Wellenleiter gesammelt zu werden.

15        b) 1x2-Teiler mit Kollektor-Wellenleiter. Ein gewöhnlicher "symmetrische Interferenz" 1x2-MMI-Koppler (mit  $N=2$ ,  $M=1$ ,  $A=4$ , und  $L$  aus Eq.1) wird am Ort  $z=z_0$  in zwei geteilt. Der erste Teil wird auf einer Seite um den Wert  $dW$  verbreitert. An dieser Seite werden die Lichtradiationen mit einem Kollektorwellenleiter gesammelt.

20        25

0 diationen mit einem Kollektorwellenleiter gesammelt. Durch eine leichte Verschiebung  $dx$  der Eingangswellenleiter kann die ursprüngliche Selbstabbildungcharakteristik wieder hergestellt werden, das heisst: zwei Bilder erscheinen mit gleicher Intensität an den zwei Ausgängen. Durch die Wahl von  $z_0$  kann die Intensität im Kollektorwellenleiter gewählt werden. Das Verfahren ist besonders für kleine Werte von  $z_0$  gut geeignet. Die exakten Werten von  $z_0$ ,  $dW$  und  $dx$  können mit Simulationsprogrammen (wie zum Beispiel BPM [2] oder MA [3]) berechnet werden.

5 Als Variante kann ein lichtabsorbierendes Material in der verbreiterte Region des erstes MMI-Stücks (schaffierte Region) eingeführt werden. Am Eingang des absorbierenden Materials soll keine Reflektion kommen. Die Radiationen werden direkt absorbiert ohne durch einen Wellenleiter gesammelt zu werden.

10

15

20

25

0      **Fig. 4** "Butterfly" und "inverted butterfly" MMI-Koppler als 1x2-Teiler mit kontrollierten Ausgangsintensitätsverhältnissen. Die Ausgangsintensitäten können durch einfache Änderungen von geometrischen Parametern gewählt werden. (Die gestrichelten Linien gelten für "inverted butterfly" MMI-Koppler).

5      a) "(Inverted) butterfly 3dB"-MMI-Koppler als 1x2-Teiler. Ein gewöhnlicher "unvollständige Interferenz 3dB-MMI-Koppler" (2x2-MMI-Koppler aus Fig.1c mit  $M=1, N=2$  und Länge aus Eq. 1 mit  $A=3$ ) wird in der Mitte geteilt und zu "butterfly" oder "inverted butterfly" MMI-Koppler transformiert (Wie auf Fig.2a,b). Die Verkleinerung ("butterfly") oder die Vergrößerung ("inverted butterfly") der Breite erfolgt symmetrisch (auf beider Seiten gleich), d.h.  $dW_1=dW_2=dW/2$  (Fig.2a,b). Die Länge wird angepasst. Für das halbe MMI-Stück ist die Länge  $L$  aus Eq. 2 mit  $M=1, N=4, A=3$  gegeben. Für kleine  $\Delta\alpha$  können die Werte  $(R_0, \Delta\alpha)$  und  $(R_1, \Delta\alpha)$  in Eq. 2 sehr gut mit den lateralen Dimensionen  $W_0$  und  $(W_0 + dW)$  angenähert werden, wobei  $dW$  negativ (positiv) für "butterfly"-MMI-Koppler ("inverted-butterfly") ist. Falls die Eingangsintensität  $P_{in}$  zu eins normiert ist dann ist die "cross"-Intensität  $P_c$  gegeben durch:

10     
$$P_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{dW}{W_0}\right)\right) \quad (\text{Eq. 3})$$

15     Die "bar"-Intensität  $P_b$  ist im Idealfall bei  $P_b=1-P_c$  gegeben.

20     b) "(Inverted) butterfly cross"-MMI-Koppler als 1x2-Teiler. Ein gewöhnlicher "unvollständige Interferenz cross-MMI-Koppler" (2x1-

0                   MMI-Koppler aus Fig.1c mit M=1,N=1 und Länge aus Eq. 1 mit A=3 wird in der Mitte geteilt und zu "butterfly" oder "inverted butterfly" MMI-Koppler transformiert (Wie auf Fig.2a,b). Die Verkleinerung ("butterfly") oder die Vergrösserung ("inverted butterfly") der Breite erfolgt nur auf einer Seite , d.h.  $dW_1=dW$  und  $dW_2=0$  (Fig.2a,b). Die Länge wird angepasst. Für das halbe MMI-Stück ist die Länge L aus Eq. 2 mit M=1,N=2, A=3 gegeben. Für kleine  $\Delta\alpha$  können die Werte ( $R_0\Delta\alpha$ ) und ( $R_1\Delta\alpha$ ) in Eq. 2 sehr gut mit den lateralen Dimensionen  $W_0$  und ( $W_0+dW$ ) angenähert werden, wobei  $dW$  negativ (positiv) für "butterfly"-MMI-Koppler ("inverted-butterfly") ist.

5                   Falls die Eingangsintensität  $P_{in}$  zu eins normiert ist dann ist die "cross"-Intensität  $P_c$  gegeben durch:

10                  

$$P_c = \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{dW}{W_0} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

15                  Die "bar"-Intensität  $P_b$  ist in ideal Fall bei  $P_b=1-P_c$  gegeben .

20                  Die Bauteile (Fig4 a,b) wirken dann als 1x2-Strahlteiler, wobei das Intensitätsverhältnis zwischen den beiden Ausgängen durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  kontrolliert wird.

25                  Zu bemerken ist, dass die Ein- und Ausgänge auf geraden Linien anstatt auf Kreisbogen (wie auf Fig.2) positioniert sind. Gemäss dem zweiten allgemeinen Verfahren werden damit nur die Phasenverhältnisse nicht aber die Intensitätsverhältnisse am Ausgang geändert.

0      Fig. 5 "Butterfly" und "inverted butterfly" MMI-Koppler als 1x3-Teiler mit kontrollierten Ausgangsintensitätsverhältnissen. Die Ausgangsintensitäten können durch einfache Änderungen von geometrischen Parametern gewählt werden. (Die gestrichelten Linien gelten für "inverted butterfly" MMI-Koppler).

5      a) "(Inverted) butterfly symmetrische Interferenz 1x2"-MMI-Koppler als 1x3-Teiler. Ein gewöhnlicher "symmetrische Interferenz 1x2-MMI-Koppler" (Fig. 1b mit  $M=1, N=2$  und Länge aus Eq. 1 mit  $A=4$ ) wird in der Mitte geteilt und zu "butterfly" oder "inverted butterfly" MMI-Koppler transformiert (Wie auf Fig.2a,b). Die Verkleinerung ("butterfly") oder die Vergrösserung ("inverted butterfly") der Breite erfolgt symmetrisch (auf beiden Seiten gleich), d.h.  $dW_1=dW_2=dW/2$  (Fig.2a,b). Die Länge wird angepasst. Für das halbe MMI-Stück ist die Länge  $L$  aus Eq. 2 mit  $M=1, N=4, A=4$  gegeben. Für kleine  $\Delta\alpha$  können die Werte  $(R_0 \cdot \Delta\alpha)$  und  $(R_1 \cdot \Delta\alpha)$  in Eq. 2 sehr gut mit den lateralen Dimensionen  $W_0$  und  $(W_0 + dW)$  angenähert werden, wobei  $dW$  negativ (positiv) für "butterfly"-MMI-Koppler ("inverted-butterfly") ist. Aus Symmetriegründen ist  $P_1=P_3$ . Falls die Eingangsintensität  $P_{in}$  zu eins normiert ist dann ist die Intensität  $P_2$  gegeben durch:

10

$$P_2 = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{dW}{W_0}\right) \quad (\text{Eq. 5})$$

15

$P_1$  und  $P_3$  sind im Idealfall bei  $P_1=P_3=(1-P_2)/2$  gegeben. Das Intensitätverhältnis zwischen den äusseren Ausgängen und dem inneren Ausgang wird durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor

0 der Breite  $dW$  kontrolliert.

b) "(Inverted) butterfly"-MMI-Koppler als 1x3-Teiler: erste Version.  
Ein gewöhnlicher "unvollständige Interferenz 3dB-MMI-Koppler"  
(2x2-MMI-Koppler aus Fig.1c mit  $M=1, N=2$  und Länge aus Eq. 1 mit  
 $A=3$ ) wird in der Mitte geteilt und zu "butterfly" oder "inverted butter-  
fly" MMI-Koppler transformiert (Wie auf Fig.2a,b). Die Verkleinerung  
("butterfly") oder die Vergrösserung ("inverted butterfly") der Breite  
erfolgt symmetrisch (auf beider Seiten gleich), d.h.  $dW_1=dW_2=dW/2$   
(Fig.2a,b). Die Länge wird angepasst. Für das halbe MMI-Stück ist die  
Länge  $L$  aus Eq. 2 mit  $M=1, N=4, A=3$  gegeben. Für kleine  $\Delta\alpha$  können  
die Werte  $(R_0, \Delta\alpha)$  und  $(R_1, \Delta\alpha)$  in Eq. 2 sehr gut mit den lateralen Di-  
mensionen  $W_0$  und  $(W_0+dW)$  angenähert werden, wobei  $dW$  negativ  
(positiv) für "butterfly"-MMI-Koppler ("inverted-butterfly") ist. Die  
Position der Einganwellenleiter wird angepasst. Die Eingangswellen-  
leiter werden auf ein Sechstel der Breite (vom MMI-Rand aus gemes-  
sen) positioniert. Der Bauteil wirkt als 1x3-Strahlteiler. Die  
15 Intensitätverhältnisse zwischen den Ausgängen werden durch den  
Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  beein-  
flusst. Spezial für den Wert  $dW=0.38*W_0$  ist  $P_1 \approx P_2 \approx 0.44*P_{in}$  und  
 $P_3 \approx 0.12*P_{in}$ .

c) "(Inverted) butterfly"-MMI-Koppler als 1x3-Teiler: zweite Version.  
Ein gewöhnlicher "symmetrische Interferenz 1x2-MMI-Koppler"  
(1x2-MMI-Koppler aus Fig.1b mit  $M=1, N=2$  und Länge aus Eq. 1 mit  
 $A=4$ ) wird in der Mitte geteilt und zu "butterfly" oder "inverted butter-  
fly" MMI-Koppler transformiert (Wie auf Fig.2a,b). Die Verkleinerung

0 ("butterfly") oder die Vergrösserung ("inverted butterfly") der Breite erfolgt symmetrisch (auf beider Seiten gleich), d.h.  $dW_1=dW_2=dW/2$  (Fig.2a,b). Die Länge wird angepasst. Für das halbe MMI-Stück ist die Länge L aus Eq. 2 mit  $M=1, N=4, A=4$  gegeben. Für kleine  $\Delta\alpha$  können die Werte  $(R_0, \Delta\alpha)$  und  $(R_1, \Delta\alpha)$  in Eq. 2 sehr gut mit den lateralen Dimensionen  $W_0$  und  $(W_0+dW)$  angenähert werden, wobei  $dW$  negativ (positiv) für "butterfly"-MMI-Koppler ("inverted-butterfly") ist. Die Position der Einganwellenleiter wird angepasst. Die Eingangswellenleiter werden auf ein Viertel der Breite (vom MMI-Rand aus gemessen) positioniert. Der Bauteil wirkt als 1x3-Strahlteiler. Die

5 Intensitätsverhältnisse zwischen den Ausgängen werden durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite  $dW$  beeinflusst. Spezial für den Wert  $dW=-0.22*W_0$  ist  $P_1 \equiv P_2 \equiv 0.44*P_{in}$  und  $P_3 \equiv 0.12*P_{in}$ .

10 Für die Bauteile der Fig. 5a,b,c ist zu bemerken, dass die Ein- und Ausgänge auf geraden Linien anstatt auf Kreisbogen (wie auf Fig.2) positioniert sind. Gemäss dem zweiten allgemeinen Verfahren werden damit nur die Phasenverhältnisse, nicht aber die Intensitätsverhältnisse am Ausgang geändert.

15

20

25

0

## Referenzen

[1] T. Tamir: 'Integrated Optics', Topics in Applied Physics vol.7, Springer Verlag 2nd Edition, 1985, ISBN 0-387-09673-6.

[2] Y.C. Chung and N Dagli 'An assessment of finite difference beam propagation method', J. Quantum Electronics, vol. 26, pp. 1335-1339, 1990

[3] L. Soldano, F. Veerman, M. Smit, B. Verbeek, A. Dubost, E. Pennings: "Planar Monomode Optical Couplers based on Multimode Interference Effects", J. Lightwave Technology, Vol. 10, No 12, Dec.92, pp. 1843-1849.

[4] R.M. Knox, P.P. Toullos: ' Integrated circuits for milimeter through optical frequency range' in Proc. Symp. Submillimeter waves, Polytechnic Inst. Brooklyn, Brooklyn, NY, Mar. 1970, pp. 497-516.

[5] K. Tsutsumi et all. ' Analysis of single-mode optical Y-Junctions by Bounded step and bend approximation', J. Lightwave Technology, Vol.6, pp. 590-600, 1988

[6] H. Yajima 'Coupled mode analysis of dielectric planar branching waveguides' J. Quantum Electronics, vol. 14, pp. 749-755, 1978

[7] L. Stoll, et all. ' compact and polarization independent optical switch on inP/InGaAsP' Proc. ECOC'92, Berlin, paper Tu B7.2, pp.337-340.

[8] M. Papuchon et all.: ' Electrically active optical bifurcation :BOA', Appl. Phys. Lett., vol.31, pp. 266-267, 1977.

[9] M. Ikeda et all.: ' Loss-less 4x4 monolithic LD optical matrix switches',

0 Photonic Switching'92, paper 2B1, 1992.

[10] C. Dragone et all.: ' Efficient multichannel Integrated Optics Star coupler on Silicon', IEEE Photon. Technol. Lett., vol.1, pp. 241-243, 1989.

[11] O. Bryngdahl: ' Image formation using self-imaging techniques', J. Opt. Soc. Am. vol.63, pp. 416-419, 1973.

5 [12] R. Ulrich et all.: ' Self-imaging in homogeneous planar optical waveguides' Appl. Phys. Lett., vol. 27, pp. 337-339, 1975.

[13] P. Besse, M. Bachmann, H. Melchior: "Phase relations in multi-mode interference couplers and their application to generalized integrated Mach-Zehnder optical switches", Proc. ECIO'93, Neuchatel, paper 2-22.

10 [14] J.M. Heaton, R.M. Jenkins, D.R. Wight, J.T. Parker, J.C.H. Birbeck, and K.P. Hilton, "Novel 1-to-N way integrated optical beam splitters using symmetric mode mixing in GaAs/AlGaAs multimode waveguides", Appl. Phys. Lett. 61 (15), pp. 1754-1756, 1992.

[15] M. Heiblum et all.: ' Analysis of curved optical waveguides by conformat Transformation', J. Quantum Elec., vol. 11, pp. 75-83, 1975.

15 [16] L. Soldano, F. Veerman, M. Smit, B. Verbeek: "High-performance monomode planar couplers using a short multi-mode interference section", Proc. ECOC'91, Paris, paper TuB5-2, pp. 225-228., 1991

[17] E.C.M. Pennings et all.: ' Ultra-compact, low-loss directional coupler-structures on InP for monolithic integration', Proc. ECOC'91, Paris, paper WeA7-3, pp. 405-408, 1991.

20 [18] L.B. Soldano: ' large optical bandwidth of InGaAsP/InP Multi-Mode Interference 3dB couplers', Proc. ECIO'93, Neuchatel, paper 14-10.,

25 1993

0

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Änderung der Intensitäts- und Phasenverhältnisse an den Ausgängen von Multi-Mode Interferenz (MMI)-Kopplern in zwei oder drei Dimensionen. Dabei werden folgende Modifikationen an den gewöhnlichen MMI-Kopplern mit parallelen lateralen Flanken gemacht:
  - 5 - Der gewöhnliche MMI-Koppler wird in zwei oder mehrere Stücke längs der Propagationsrichtung geteilt, so dass jedes Stück selber ein MMI-Koppler (mit eventuell sich überlappenden Bildern) ist.
  - Jedes Stück wird separat so transformiert, dass der charakteristische Selbstabbildungseffekt dieser Koppler erhalten bleibt oder in erster Näherung erhalten bleibt. Besonders geeignet als zwei- oder dreidimensionale Transformationen sind: Breiten und Längenänderungen, Schiefstellen der lateralen Flanken, laterale Verschiebungen und Schiefstellen der Eingangs und Ausgangswellenleiter, Änderung der Dimensionen der Eingangs und Ausgänge ...
  - 10 - Direkte in Serie Setzung dieser transformierten Stücken ohne die Verwendung von Verbindungswellenleitern zwischen den Stücken. Weil jedes Stück transformiert worden ist, werden die Anzahl Bilder und ihre relativen Phasen am Eingang des nächsten Stück geändert. Dadurch wird die Interferenzerscheinung am Ende des gesammten Elementes geändert. Je nach verwendeten Transformationen der einzelnen Stücke ändern sich die Intensitätsverhältnisse an den existierenden Ausgängen, erscheinen neue Selbstabbildungen und treten bewusst erzeugte Radiationen auf.
  - 15 - Einführung von neuen Ausgangswellenleitern, um neu erscheinende

0                   Selbstbilder zu führen oder bewusst erzeugte Radiationen zu sammeln.

2.                   Verfahren zur Änderung der Phasenverhältnisse an den Ausgängen von Multi-Mode Interferenz (MMI)-Kopplern in zwei oder drei Dimensionen.

Das Verfahren folgt folgenden Schritten :

5                   - Der gewöhnliche MMI-Koppler wird so transformiert, dass der charakteristische Selbstabbildungseffekt dieser Koppler erhalten bleibt. Nach der Transformation sollen die Eingangs- und Ausgangspositionen auf gekrümmten Linien oder gekrümmten Flächen liegen. Diese Linien oder Flächen werden als Eingangs- und Ausgangsfronten bezeichnet. Besonders geeignet als zwei oder drei dimensionale Transformationen sind:

10                   Breiten und Längenänderungen, Schiefstellen der lateralen Flanken, laterale Verschiebungen und Schiefstellen der Eingangs- und Ausgangswellenleitern, Änderung der Dimensionen der Ein- und Ausgänge ...

15                   - Platzierung der Eingangs- und Ausgangswellenleitern auf andere Linien oder Flächen als die Eingangs- und Ausgangsfronten, zum Beispiel auf gerade Linien oder auf Ebenen.

20                   - Je nach Wahl der Transformation verschieben sich die Eingangs- und Ausgangsfronten, ihre Krümmungen ändern sich gleichzeitig. Die Unterschiede zwischen den Positionen der Ein- und Ausgänge und der Lage der Ein- und Ausgangsfronten erzeugen Änderungen der Phasenverhältnisse am Ende der Komponente. Diese Verhältnisse können deshalb durch die geeignete Wahl der Transformation kontrolliert werden.

25                   3.                   Verfahren um ein Teil der Eingang-Lichtintensität abzuzweigen ohne die

0       Teiler Funktion des MMI-Koppler zu zerstören. Dieses Verfahren folgt ähnlichen Schritten wie beim Anspruch1, d.h.:

- Der gewöhnliche MMI-Koppler wird in zwei Stücke geteilt (Teilung am Ort  $z=z_0$ ). Durch die Wahl von  $z_0$ , wird der Anteil des abgezweigten Lichtes kontrolliert.

5       - Das erste MMI-Stück wird verbreitert, dadurch gelangt ein Teil des Lichts nicht ins zweite MMI-Stück und wird als Radiationen auf einer oder auf beiden Seiten auftreten. Diese bewusst erzeugten Radiationen werden durch neu eingeführte Wellenleiter gesammelt.

- Der Rest des Lichts propagiert ins zweite MMI-Stück und interferiert am Ausgang dieses Stücks. Die Störung des Interferenzbildes durch die Verbreiterung des ersten MMI-Stücks wird durch leichte Korrekturen auf die Positionen, die Breiten und den Einfallswinkeln den Ein- und Ausgangs- wellenleitern, sowie auf die Länge des zweiten MMI-Stücks kompensiert.

10

15     4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Schiefstellen der lateralen Flanken (und die damit gekoppelte Anpassung der Längen und der Ein- und Ausgangswellenleiter Positionen und Richtungen) als zwei-oder dreidimensionale Transformation verwendet wird. Diese Transformationen und die nötigen Anpassungen können einfach durch Koordinatentransformationen (Zylindrischen- oder Kugeltransformationen) analysiert werden. Nach den Transformationen befinden sich die Ein- und Ausgangsfronten jedes Stückes auf Kreis- oder Kugelflächen. Wegen den Nicht-Uebereinstimmung dieser Fronten entstehen Phasenverschiebungen

20

25     zwischen den MMI-Stücken. Dadurch ändern sich das Interferenzbild und

0 die Intensitätsverhältnisse am Ausgang des ganzen Bauteils.

5. Verfahren nach Anspruch 4., dadurch gekennzeichnet, dass der gewöhnliche MMI-Koppler nur in der Mitte geteilt wird. Bis zur Mitte hin wird die Breite linear verkleinert (vergrössert) und von da an wieder linear vergrössert (verkleinert) bis zum ursprünglichen Wert. Die Länge jedes Stückes wird angepasst. Die transformierten Bauteile werden dann als "butterfly" ("inverted butterfly") MMI-Koppler bezeichnet.
10. Verfahren nach Anspruch 3., dadurch gekennzeichnet, dass nur zwei oder drei Ausgänge gebraucht werden. Gewöhnliche "symmetrische Interferenz 1x1-MMI-Koppler" oder gewöhnliche "symmetrische Interferenz 1x2-MMI-Koppler" werden in zwei geteilt. Der erste Teil wird nur auf eine Seite verbreitert. An dieser Seite werden die Radiationen mit einem einzigen neuen Wellenleiter gesammelt. Durch eine leichte Verschiebung der Eingangswellenleiter kann die ursprüngliche Selbstabbildungscharakteristik wieder hergestellt werden, d.h.: Ein einziges Bild am Ausgang des "symmetrische Interferenz 1x1-MMI-Kopplers" und eine gleichmässige Intensitätsverteilung an den zwei Ausgängen des "symmetrische Interferenz 1x2-MMI-Kopplers".
20. Verfahren nach Anspruch 3., dadurch gekennzeichnet, dass ein lichtabsorbierendes Material in der verbreiterten Region des ersten MMI-Stücks eingeführt wird. Am Eingang des absorbierenden Materials soll keine Reflektion vorkommen. Die Radiationen werden direkt absorbiert ohne
25. Verfahren nach Anspruch 3., dadurch gekennzeichnet, dass ein lichtabsorbierendes Material in der verbreiterten Region des ersten MMI-Stücks eingeführt wird. Am Eingang des absorbierenden Materials soll keine Reflektion vorkommen. Die Radiationen werden direkt absorbiert ohne

0 durch einen Wellenleiter gesammelt zu werden.

8. Verfahren nach Anspruch 5., dadurch gekennzeichnet, dass gewöhnliche "unvollständige Interferenz 3dB-MMI-Koppler" oder gewöhnliche "unvollständige Interferenz cross-MMI-Koppler" in die Mitte geteilt werden und, gemäss Anspruch 5., zu "butterfly" oder "inverted butterfly" MMI-Koppler transformiert werden. Die Verkleinerung bzw. die Vergrösserung der Breite erfolgt symmetrisch (auf beiden Seiten gleich) für gewöhnliche "unvollständige Interferenz 3dB-MMI-Koppler", und asymmetrisch (nur auf einer Seite) für gewöhnliche "unvollständige Interferenz cross-MMI-Koppler". Die Bauteile wirken dann als 1x2-Strahlteilern, wobei das Intensitätsverhältnis zwischen den beiden Ausgängen durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite kontrolliert wird.

10

9. Verfahren nach Anspruch 5., dadurch gekennzeichnet, dass gewöhnliche "symmetrische Interferenz 1x2-MMI-Koppler" in die Mitte geteilt werden und, gemäss Anspruch 5., zu "butterfly" oder "inverted butterfly" MMI-Koppler transformiert werden. Die Verkleinerung oder die Vergrösserung der Breite erfolgt symmetrisch auf beiden Seiten gleich. Die Bauteile wirken dann als 1x3-Strahlteiler, wobei die zwei äusseren Ausgänge dieselbe Intensität haben. Das Intensitätsverhältnis zwischen den äusseren Ausgängen und dem mittleren Ausgang wird durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite kontrolliert.

15

20

25 10. Verfahren nach Anspruch 5., dadurch gekennzeichnet, dass gewöhnliche

0 "unvollständige Interferenz 3dB-MMI-Koppler" oder "symmetrische Interferenz 1x2-MMI-Koppler" in der Mitte geteilt werden und, gemäss Anspruch 5., zu "butterfly" oder "inverted butterfly" MMI-Koppler transformiert werden. Für gewöhnliche "unvollständige Interferenz 3dB-MMI-Koppler" wird der Eingangswellenleiter auf einen Sechstel der Breite (vom MMI-Rand aus gemessen) positioniert. Für gewöhnliche "symmetrische Interferenz 1x2-MMI-Koppler" wird der Eingangswellenleiter auf ein Viertel der Breite (vom MMI-Rand aus gemessen) positioniert. Die Verkleinerung bzw. die Vergrösserung der Breite erfolgt symmetrisch auf beiden Seiten gleich. Die Bauteile wirken dann als 1x3-Strahlteiler. Die Intensitätsverhältnisse zwischen den Ausgängen werden durch den Verkleinerungs- oder den Vergrösserungsfaktor der Breite beeinflusst.

5

10

15

20

25

Fig. 1 a)

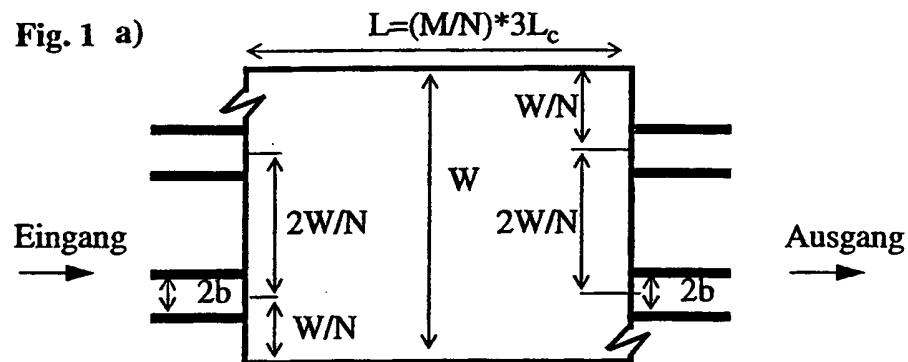


Fig. 1 b)

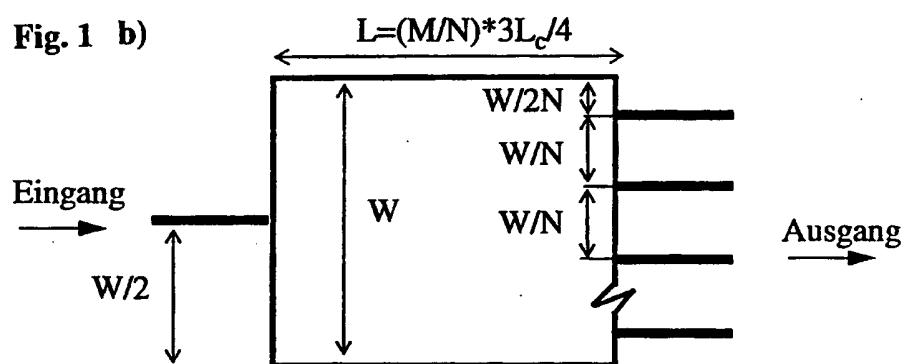


Fig. 1 c)

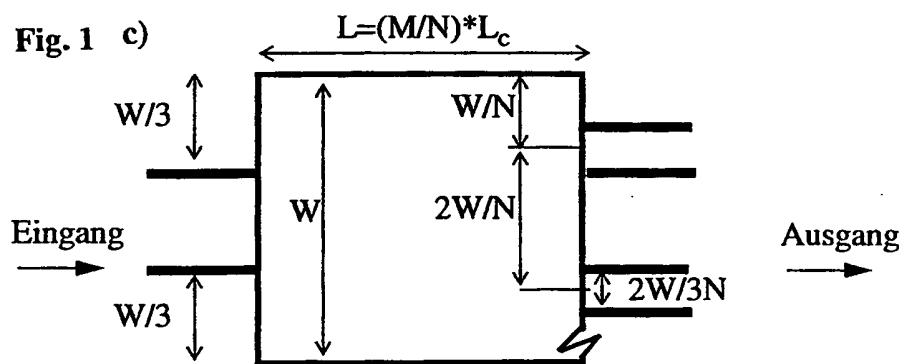


Fig. 2 a)

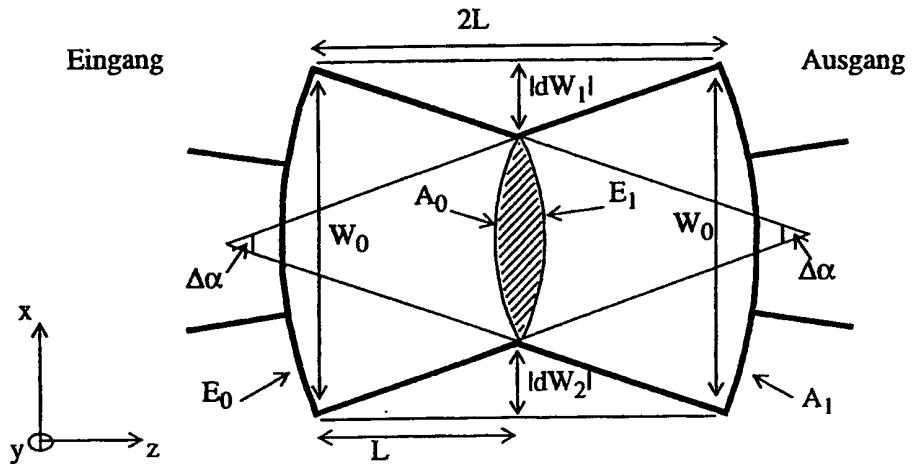


Fig. 2 b)

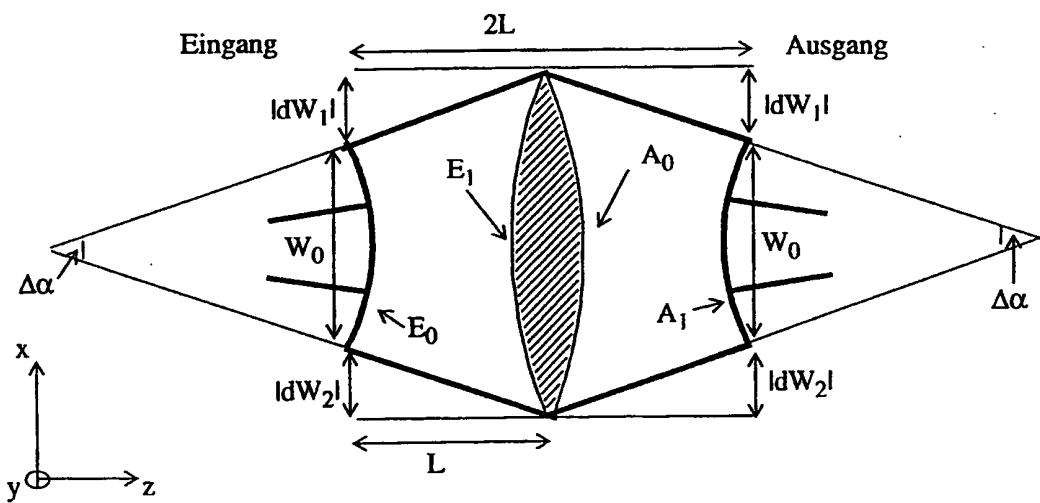


Fig. 3 a)

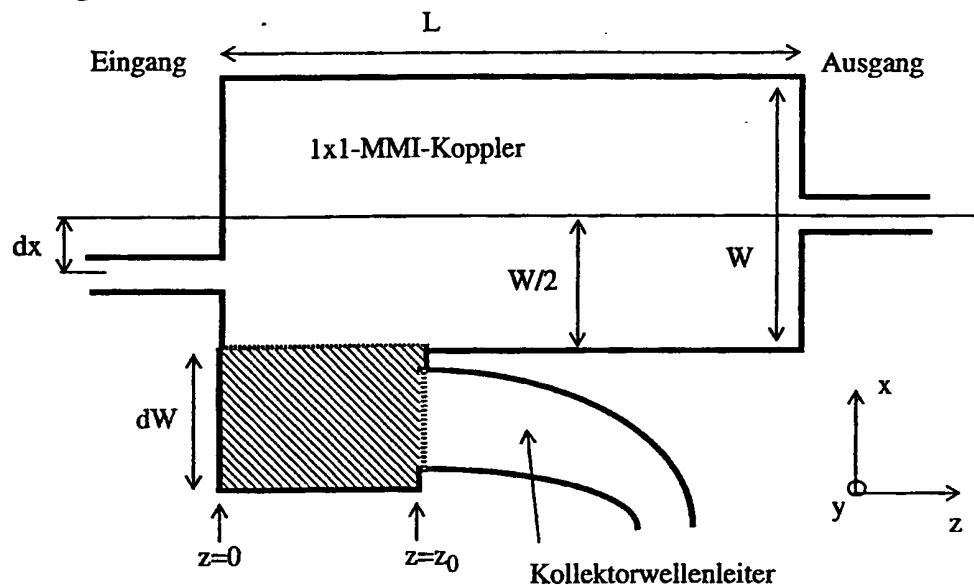


Fig. 3 b)

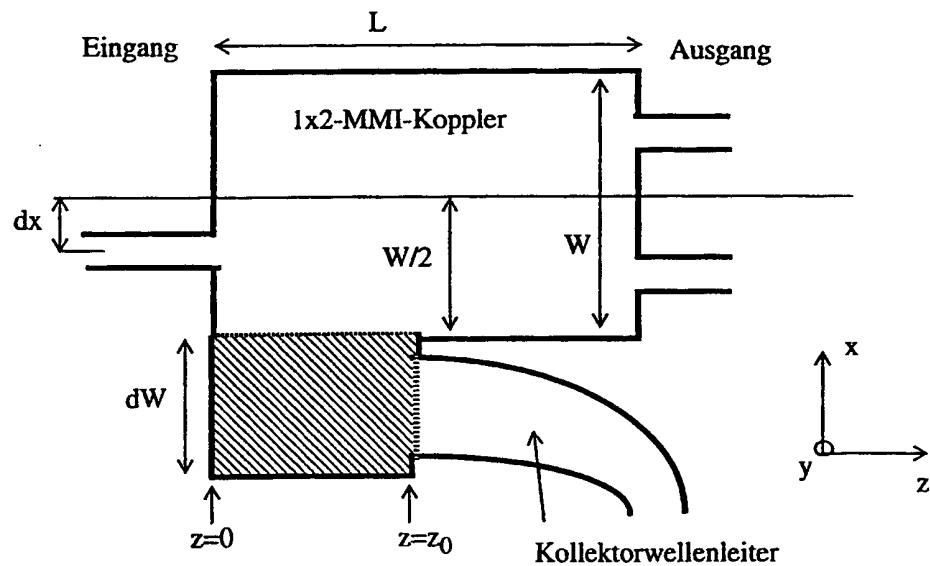


Fig. 4 a)

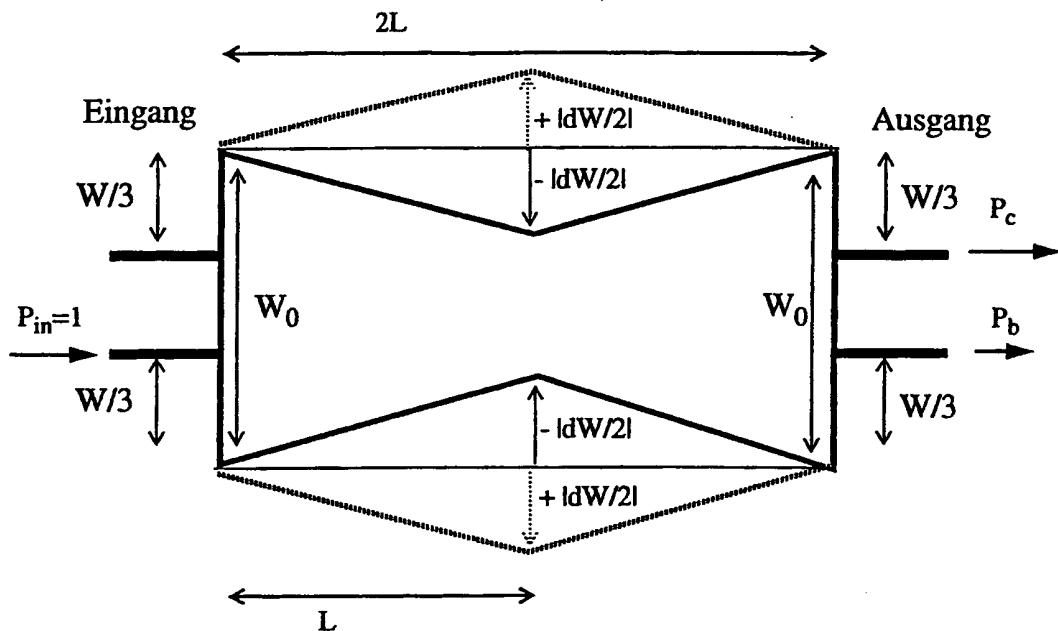


Fig. 4 b)

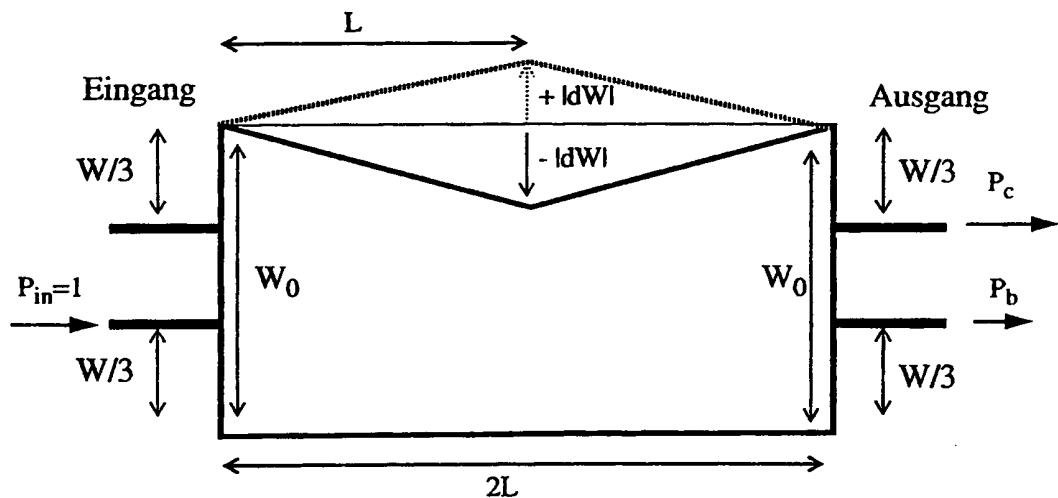


Fig. 5 a)

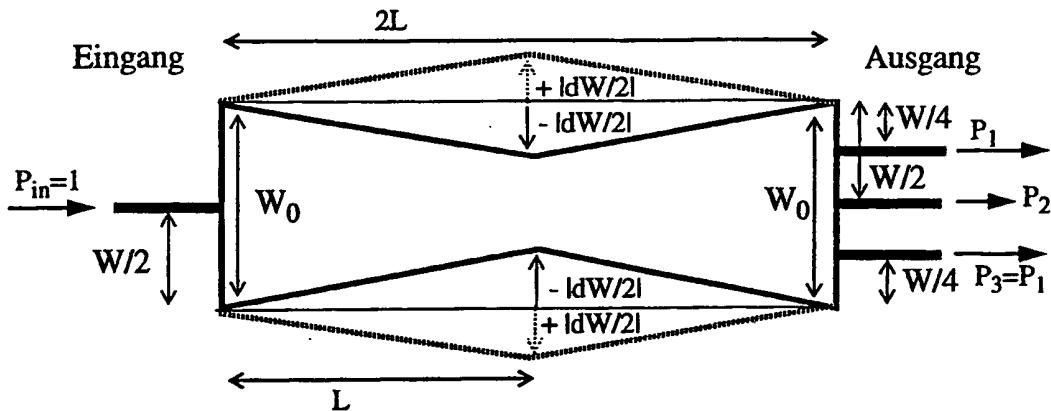


Fig. 5 b)

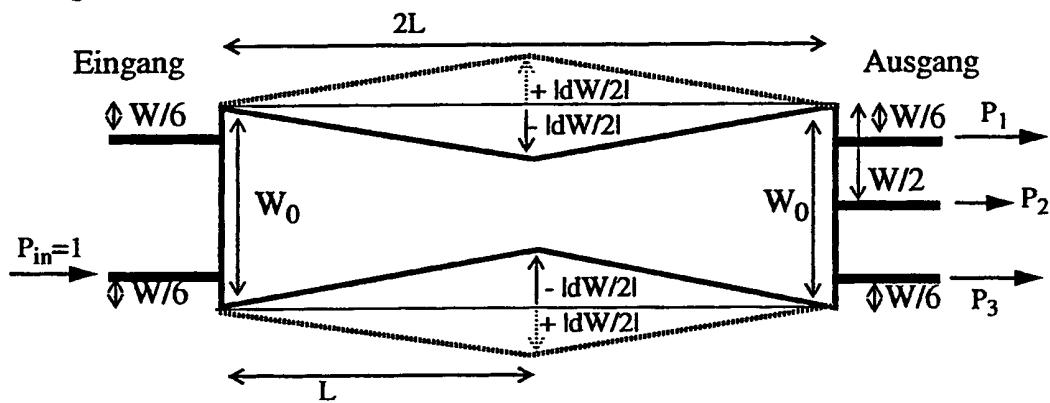
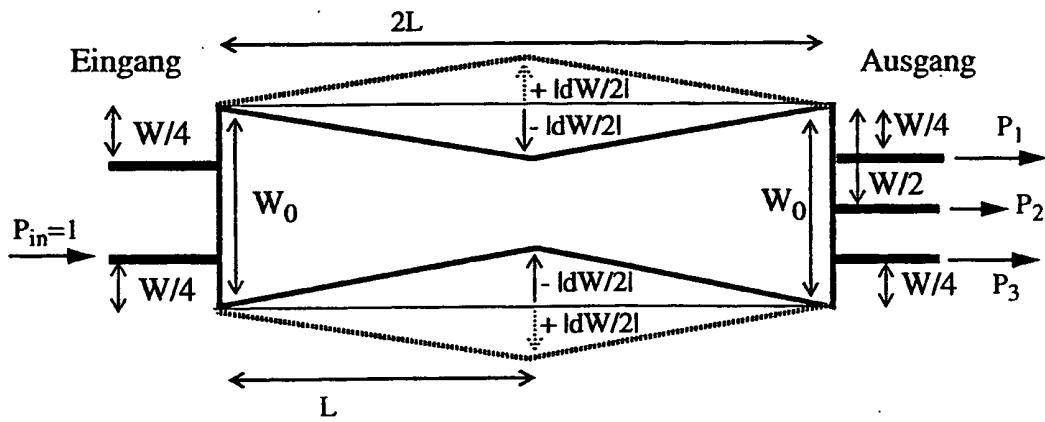


Fig. 5 c)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/CH 94/00207A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G02B6/28 H01P1/16 H04B10/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 G02B H01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US,A,4 087 159 (R.ULRICH) 2 May 1978 see figures 10,11,30,31 see claims 1,11,22-47 see column 12 - column 14 ----	1,3,4,6
X,P	ECOC94, 20TH CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION, 25 September 1994, FIRENZE, ITALY pages 669 - 672 P.A.BESSE ET.AL. 'New 1x2 multi-mode interference couplers with free selection of power splitting ratios' see the whole document ----	1,2,4,5, 8-10 -/-

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  2 February 1995	Date of mailing of the international search report  08.02.95
Name and mailing address of the ISA  European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Mathyssek, K

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO,A,92 11550 (THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE IN HER BRITANNIC MAJESTY'S) 9 July 1992 see figures 10,13,15,21 see page 27, line 1 - line 34 see page 28, line 1 - line 21 see page 29, line 18 - line 34 see page 30, line 1 - line 16 -----	1,4

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'l Application No

PCT/CH 94/00207

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US-A-4087159	02-05-78	DE-A-	2445150	04-12-75
		DE-A-	2506272	24-06-76
		DE-B-	2511046	11-03-76
		FR-A, B	2285623	16-04-76
		GB-A-	1525492	20-09-78
		JP-A-	51057457	19-05-76
WO-A-9211550	09-07-92	CA-A-	2096420	21-06-92
		EP-A-	0563084	06-10-93
		JP-T-	6503902	28-04-94

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
**IPK 6 G02B6/28 H01P1/16 H04B10/00**

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
**IPK 6 G02B H01P**

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US,A,4 087 159 (R.ULRICH) 2. Mai 1978 siehe Abbildungen 10,11,30,31 siehe Ansprüche 1,11,22-47 siehe Spalte 12 - Spalte 14 ---	1,3,4,6
X,P	ECOC94, 20TH CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION, 25. September 1994, FIRENZE, ITALY Seiten 669 - 672 P.A.BESSE ET.AL. 'New 1x2 multi-mode interference couplers with free selection of power splitting ratios' siehe das ganze Dokument ---	1,2,4,5, 8-10

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*'A' Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*'E' älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*'L' Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*'O' Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*'P' Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

Siehe Anhang Patentfamilie

- \*'T' Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*'X' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*'Y' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*'&' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Februar 1995

Abschlußdatum des internationalen Recherchenberichts

08.02.95

Name und Postanschrift der Internationale Recherchebehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax (+31-70) 340-3016

Bewilligter Bediensteter

Mathyssek, K

C(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>WO,A,92 11550 (THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE IN HER BRITANNIC MAJESTY'S) 9.  Juli 1992  siehe Abbildungen 10,13,15,21  siehe Seite 27, Zeile 1 - Zeile 34  siehe Seite 28, Zeile 1 - Zeile 21  siehe Seite 29, Zeile 18 - Zeile 34  siehe Seite 30, Zeile 1 - Zeile 16</p> <p>-----</p>	1,4
2		

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/CH 94/00207**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US-A-4087159	02-05-78	DE-A-	2445150	04-12-75
		DE-A-	2506272	24-06-76
		DE-B-	2511046	11-03-76
		FR-A, B	2285623	16-04-76
		GB-A-	1525492	20-09-78
		JP-A-	51057457	19-05-76
WO-A-9211550	09-07-92	CA-A-	2096420	21-06-92
		EP-A-	0563084	06-10-93
		JP-T-	6503902	28-04-94